第35卷 第1期　　昆 虫 学 报　　Vol. 35, No. 1
1992年2月　　ACTA ENTOMOLOGICA SINICA　　Feb., 1992

小地老虎成虫的飞翔活动

贾佩华　曹雅忠
(中国农科院植物保护研究所，北京 100094)

摘要 利用昆虫飞翔测试仪等装置，对小地老虎 *Agrotis ypsilon* (Rottemberg) 成虫的飞翔活动及飞翔能力进行了研究。试验结果表明：此种蛾类具有较强的远距离飞行能力；蛾龄与飞翔能力关系密切，7—9日龄蛾飞翔力最强，静风下其累计飞翔时间为34—65小时，累计飞行距离为550—1003公里，全程平均飞行速度为3.5—4.3米/秒；成虫具有明显的昼夜飞翔活动节律，前半夜19:15—22时与后半夜1—5时飞翔活动最为频繁；适宜飞翔的温度为10—30℃，19℃附近为最适飞翔温度；起飞的临界低温约6℃，停飞的临界高温约38℃；光照强度0.4 lx时飞翔活动开始显著下降，2.0 lx时则完全抑制飞翔活动；顺风飞翔时，飞翔速度随风速增加而下降，可逆风飞翔的最大风速为4.6米/秒；幼虫期营养不良或成虫期无补充营养，其飞翔力明显减弱；从成虫阶段营养状况来看，羽化后的前3天是影响飞翔能力的关键时期。

关键词 小地老虎成虫　飞翔活动

本世纪初，人们就开始猜测小地老虎 *Agrotis ypsilon* (Rottemberg) 能远距离迁飞 (Fletcher, 1916; Williams, 1926)。Kapur (1955) 在4114.8米的雪山上发现了几十头小地老虎蛾子，认为这是迁飞所致；后来 Johnson (1969) 报道它可水平迁飞321.86公里远；日本学者(千叶武胜，1976；布施宽，1977)也推测，4—6月份日本岛北部的小地老虎可能来自中国大陆25—30°N的地区。我国小地老虎科研协作组利用标记回收的方法获得的结果表明，小地老虎水平迁飞直线距离能达到1818公里，并初步明确了越冬代小地老虎从南向北迁飞的路线(贾佩华，1985)。从而证实了它是一种远距离迁飞害虫。

为了深入研究小地老虎在我国的迁飞规律，为预测预报提供理论依据，作者利用自动记录昆虫飞翔活动的仪器设备(张志涛，1984；粘虫组，1984)，对它的迁飞能力、日飞翔活动节律、性别及蛾龄与飞翔力的关系，气流和温度及光照和营养条件等对其飞翔活动的影响，进行了室内测试研究。现将结果整理如下。

材料与方法

测试虫源主要由田间蛹经室内繁殖后的一、二代成虫，部分成虫由田间蛹羽化。选择大小一致、羽化正常的成虫，测试前以5%的蜜水饲养，群体密度在30头以下，性比约为1:1。养虫室内温度为23—25℃，60—80%相对湿度；用3只40瓦日光灯照明，每日光照为13小时。

测试蛾先用乙醚麻醉，再用502胶粘住背面胸腹连接处，然后固定在飞行磨上进行吊飞测试。预备试验表明乙醚麻醉和粘胶对小地老虎蛾的生活力及飞翔习性无明显影响。

本文于1989年3月收到。

结果及分析

（一）飞翔能力与蛾龄及性别的关系

吊飞 24 小时及连续吊飞试验表明：成虫羽化后数小时就能飞翔，但飞翔力较弱；随蛾龄增长其飞翔力迅速增强，3 日龄已显著高于 1 日龄蛾（$P < 0.05$）；5 日龄蛾进入飞翔高峰期，7 至 9 日龄蛾飞翔力最强，静风下连续吊飞的累计飞翔时间为 34—56 小时，最长者达 65 小时；平均累计飞行距离为 660.7 公里，最远者达 1003.4 公里；全程均速在 3.5—5.3 米/秒；其中有 12 头(占 50% 供试个体）在测试的第一昼夜竟连续飞翔 376 公里多；11 日龄后飞翔力逐渐下降(图 1)。这一变化趋势与粘虫测试结果(张志涛等，1985) 基本类似。连续吊飞结果见表 1 所示。

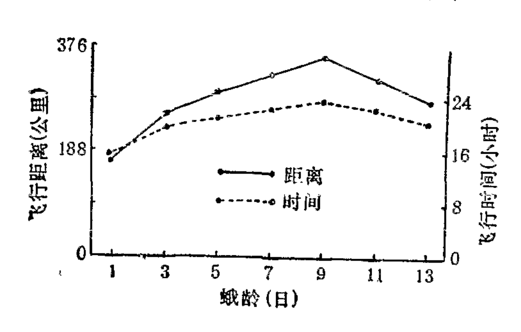


图 1　不同蛾龄飞翔能力变化曲线

表 1　不同日龄蛾的飞翔能力比较(性比 1:1)

日龄	虫数(头)	累计飞翔时间(小时) 平均	累计飞翔时间(小时) 最大	累计飞行距离(公里) 平均	累计飞行距离(公里) 最大	平均速度(米/秒)
1	12	25.90±9.3 dD	46.0	242.332±81.532 dD	248.116	2.66±0.42 cC
3	12	32.05±5.34 cdCD	40.0	381.881±81.234 cCD	522.553	3.33±0.47 bB
5	12	40.54±6.3 bABC	57.0	531.805±90.660 bAB	715.750	3.64±0.29 abAB
7	12	49.26±9.3 aA	65.0	662.674±115.181 aA	876.945	3.77±0.42 aAB
9	12	45.97±10.0 abAB	63.5	658.813±164.969 aA	1003.424	3.98±0.44 aA
11	12	38.78±11.4 bcBC	59.0	509.634±180.839 bBC	762.257	3.73±0.34 aAB
13	9	29.70±12.1 dCD	37.6	375.186±172.340 cdD	437.563	3.15±0.93 cC

注：数字后字母为 Duncan 测验结果，小写字母表示 5% 显著水平，大写字母表示 1% 显著水平，字母相同者为差异不显著。表 2、表 4 类同。

雌蛾与雄蛾飞翔力随蛾龄变化的趋势一致，但在不同发育阶段两者略有不同。低龄期（2—5 日龄）雄蛾飞翔力强于雌蛾，到了成熟期（7—9 日龄）雌蛾飞翔力剧增，显著高于雄蛾（$P < 0.05$）。进入产卵末期的雌蛾其飞翔力下降比雄蛾快。这与地面长江流域诱集越冬代蛾雄虫多于雌虫(迁飞过程的前期)，华北与西北地区雌虫多于雄虫(迁飞过程的后期)的现象完全一致。

（二）日飞翔活动节律

小地老虎蛾的自由飞翔活动均在夜间，并集中在 19:15—22 时和 1—5 时两个时段。未成熟期的成虫其飞翔活动较少，并多在前半夜；随蛾龄增长后半夜的活动日趋频繁(图 2)。不同龄期蛾自由飞翔活动频率变化与吊飞蛾飞翔力变化趋势基本吻合；吊飞蛾飞翔速度的变化时刻也与自由飞翔蛾的飞翔与停歇时刻基本一致。由此可见，该虫具有明显的日飞翔活动节律。

（三）飞翔能力与温度的关系

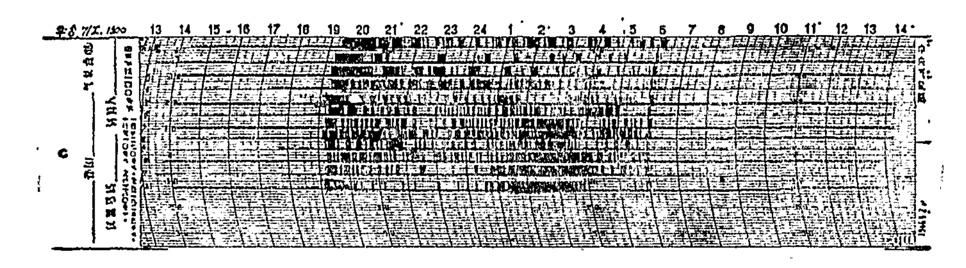


图 2　小地老虎蛾自由飞翔活动节律

1. 不同温度下的飞翔能力：7 日龄蛾在 8℃、10℃、15℃、20℃、25℃、30℃、35℃ 7 个梯度温度，60—80%相对湿度下的飞翔结果(表 2)表明，10—30℃都适宜小地老虎蛾飞翔；15—20℃下的飞翔速度显著高于其它温度下的飞翔速度；18—20℃飞行距离最远。72 小时连续吊飞测试结果表明，其飞翔速度、飞行距离及飞翔时间均以 19℃附近为最好，可见小地老虎飞翔最适温度约为 19℃。

表 2　不同温度下 7 日龄蛾吊飞 11 小时的结果

温度(℃)	虫数(头)	飞翔时间(小时)		飞翔距离(公里)		飞翔速度(米/秒)
		平　均	最大	平　均	最　远	平　均
8	10	10.1±1.5 bA	11.0	52.4±26.8 dC	92.9	1.4±0.6 cC
10	13	10.9±0.1 aA	11.0	78.6±12.1 bcB	101.7	2.0±0.3 bB
15	15	10.9±0.3 aA	11.0	87.4±15.2 bAB	119.9	2.2±0.4 bA
20	14	10.9±0.1 aA	11.0	99.8±17.8 aA	120.0	2.5±0.4 aA
25	12	11.0±0.0 aA	11.0	82.0±12.9 bcB	100.9	2.1±0.3 bB
30	15	10.4±1.2 abA	11.0	72.9±9.2 cB	89.8	2.0±0.2 bB
35	17	2.6±0.8 cB	8.0	13.6±5.9 dD	33.1	1.4±0.3 cC

2. 起飞和停飞的临界温度：采用恒温与变温等方法，分别测试 5—8 日龄蛾在 8℃以下及 35℃ 以上温度下的飞翔活动。在—4℃和 0℃恒温时，测试蛾仅能在上机初挣扎飞翔几十秒或几分钟，便停止飞翔，然后再不起飞活动；4℃时，只有个别蛾子可飞翔 1 小时左右且飞速缓慢；而在 6℃ 时则有 50% 以上个体飞翔时间超过 90 分钟，飞翔速度比 4℃ 时高 2 倍多，飞行距离平均在 500 米以上(图 3)。变温条件下，在 0℃ 向 12℃逐渐升温过程中，处于停飞状态下的蛾子开始起飞的温度在 4—8℃ 之间，平均为 7.2±1.2℃；由 12℃向低温下降过程中，停飞温度平均为 4.3±1.7℃。由上述不同测试结果看出，小地老虎起飞的临界低温约为 6℃。

高温条件下测试结果表明，38℃以上抑制飞翔活动。低、高温下的测试结果还表明，温度的影响主要在飞翔速度和飞翔持续时间两方面。低温影响前者，而高温对后者影响较大。

（四）光照强度对飞翔活动的影响

小地老虎蛾在不同光照强度下的自由飞翔活动如图 4 所示。可以看出：0.1 lx 照度以下对小地老虎蛾的飞翔活动没有影响，0.4 lx 开始有抑制作用，0.5 lx 则使飞翔活动显著减少，1.0 lx 以上几乎完全抑制飞翔活动。这与作者等在田间观测小地老虎蛾傍晚开

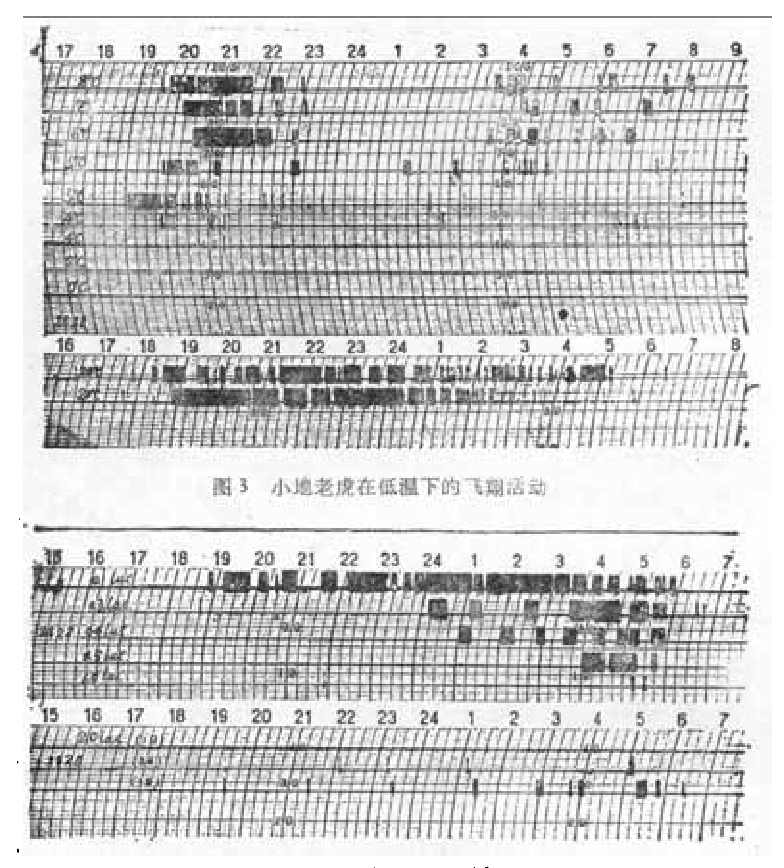


图 3　小地老虎在低温下的飞翔活动

图 4　不同照度下的飞翔活动

始出来飞翔活动时的光强度（0.2—0.8 lx）是一致的。

（五）飞翔速度和方向与气流的关系

利用环形风洞分别测试顺风与逆风的不同风速，对 5、7、9 日龄蛾飞翔速度的影响。从固定飞行方向的测试可以看出，蛾子的飞行速度依据风向及风速的变化而变化（表 3）。顺风时，蛾子飞翔速度与气流的合速度随风速增加而增加，但蛾子实际飞翔速度却随之下降；逆风飞行时则相反。该蛾可逆风飞行的最大风速平均为 4.6 米/秒，个别达 5.5 米/秒。在可以自由选择飞行方向的测试中，蛾子逆风飞行时，经过一段时间（它随风速增加而缩

表 3　不同风向及风速下的飞翔速度比较

蛾龄（日）	虫数（头）	风向	静风	顺风（米/秒）					逆风（米/秒）				
		风速	0.0	0.9	2.0	2.8	3.4	4.4	0.9	2.0	2.8	3.4	4.4
5	4	合速度	2.89	3.38	3.78	4.06	4.27	4.74	2.18	0.96	0.29	0.05	—
7	4	合速度	2.95	3.30	3.69	3.93	4.19	4.64	2.29	0.92	0.46	0.03	—
9	4	合速度	2.74	3.13	3.63	4.01	4.32	4.64	2.04	1.41	0.24	0.11	0.02
平均合速度			2.86	3.27	3.70	4.00	4.26	4.67	2.17	1.10	0.33	0.06	—
平均飞翔速度			2.86	2.37	1.70	1.20	0.86	0.27	3.95	4.12	4.16	4.60	—

短)则一直顺气流方向飞行；顺风飞行时，则很少转为逆风飞行。可见，小地老虎蛾在气流场中能选择与风向一致的方向进行远距离飞行。

（六）飞翔能力与营养的关系

小地老虎的营养包括幼虫期营养和成虫期补充营养。由幼虫期营养不良造成蛹重过轻或成虫体形较小的蛾子与正常蛾的测试比较看出，营养不良蛾的飞翔力显著低于正常蛾（$P < 0.01$）。如 24 小时吊飞的正常蛾飞行距离为 138.07 公里，而营养不良蛾只飞 82.59 公里；两者飞翔时间分别为 20.1 和 13.3 小时。可见，幼虫期的营养状况对成虫期的飞翔能力有显著影响。

成虫期饲养结果表明，取食 3 天补充营养即能完成飞翔、交配和产卵等正常活动。蛾子羽化后的 3、4 天内补充营养的取食量最大，占成虫期总食量的 90% 以上。在此基础上，分别测试了前半饥(吊飞前 3 天内不喂补充营养，吊飞中喂食)、后半饥(与前半饥相反吊飞期间不喂食营养)、全饥饿(吊飞前后均不喂食营养仅喂清水)、正常营养(吊飞前后均喂补充营养)等 4 种补充营养条件下的供试蛾。结果(表 4)表明，成虫期补充营养的有无及取食时期与飞翔能力有密切关系。全饥饿和前半饥处理蛾的飞翔力极显著低于正常营养和后半饥处理蛾（$P < 0.01$），前两者之间及后两者之间均无显著差异。饥饿处理主要影响飞翔时间和飞行距离，即飞翔“燃料”缺乏所致。由上述结果可以认为，就成虫阶段营养状况而言，成虫羽化后的前 3 天补充营养的有无，是影响飞翔能力的关键时期。

表 4　3 日龄蛾正常营养与饥饿条件下的飞翔能力比较

处理	虫数(头)	飞行距离 (公里)	飞行时间 (小时)	全程平均速度 (米/秒)
正常营养	12	147.6±42.1 aA	28.6±8.2 aA	1.6±0.1 aA
后半饥	12	146.6±30.2 aA	27.7±6.3 aA	1.5±0.1 aAB
前半饥	12	83.5±35.7 bB	18.9±5.6 bB	1.2±0.3 bB
全饥饿	12	78.2±29.6 bB	13.8±5.0 bB	1.4±0.3 aAB

讨　　论

（一）迁飞时期　据报道，许多迁飞昆虫的起飞迁移都发生在幼嫩阶段后期。本作者的测试结果表明：小地老虎蛾飞翔活动频率及飞翔能力均从羽化后第 3 日开始迅速增强，5 日龄进入飞翔盛期，7—9 日龄飞翔力最强，然后随蛾龄增长飞翔力下降。田间观察表明：2 日龄蛾外迁活动开始频繁。由此可以推测，小地老虎远距离迁飞活动主要开始于羽化后的第 3 天。由成虫期补充营养与飞翔力关系测试结果也可看出，羽化后首先完成幼嫩阶段及补充营养，做好迁飞的生理生化及营养准备。

（二）迁飞的适宜空间　根据飞翔活动与温度的关系测试结果，可以推测小地老虎迁飞的适宜空间在 10℃ 等温面以下。由田间日均温 5℃ 即见始迁入蛾的现象可以认为，春季 5℃ 等温线可作为越冬代蛾向北迁飞的北界。从小地老虎在我国发生与危害特点看，越冬代蛾的迁飞活动最为重要。10℃ 适宜飞翔下限和 18—20℃ 最适飞翔温度，可作为春季迁出区迁飞始、盛期的温度指标，即当日均温达 10 或 18℃ 以上时迁出进入始或盛期。在越冬代蛾迁入区，日均温 5℃及 10℃可作为迁入蛾始见期与始盛期的温度指标；随气温

逐渐回升，迁入蛾始见及盛蛾发生区不断北移。这与历年地面诱蛾情况是一致的。

（三）迁飞方向和距离　由于小地老虎可在 4.6 米/秒风速下逆风飞行，即已具备了克服地面大气边界层气流的能力，因此它可主动起飞进入水平运行气流层中或降落。据作者室内气流场中的试验及标记回收结果，以及其他学者（千叶武胜，1976；布施宽，1977；杉本渥等，1978；Domino, et al, 1983；Johnson, 1969）的研究，均说明小地老虎远距离迁飞方向与气流方向的一致性，即顺气流迁飞。

小地老虎具有明显的日飞翔活动节律，因此在迁飞过程中可能是夜间迁飞白昼栖息，每夜可迁飞 6—8 小时。越冬代蛾可迁飞 6—10 天或略长些。静风条件下它可累计飞翔 34—65 小时，均速为 3.5—4.3 米/秒。在顺气流飞行时，由于借助了风力，节省了能量，累计飞翔时间可显著增加，飞行速度也高于或接近风速（当风速过大时），遇 3—4 级风时，每夜可迁飞 100 多公里，5—6 级风时，每夜可迁飞 200 多公里。据上述推测，越冬代蛾迁飞的总距离大致在 1500—2500 公里范围内。田间标记回收结果也证明了这一推测。粘虫是一种远距离迁飞害虫（李光博，1964），小地老虎具有与粘虫同步发生和迁飞的现象（王荫长，1980）。但室内飞翔力测试和标记回收结果均说明小地老虎迁飞能力强于粘虫。

参　考　文　献

王荫长　1980　小地老虎与粘虫发蛾期同步现象的探讨。植物保护学报　7(4): 247—51。

李光博等　1964　粘虫季节性迁飞为害假说及标记回收试验。植物保护学报　3(2): 101—10。

张志涛　1984　昆虫飞翔记录装置。植物保护　10(3): 17—18。

贾佩华　1985　小地老虎远距离迁飞标记回收结果简报。植物保护　11(2): 20。

粘虫组等　1984　试用微型电子计算机采集昆虫吊飞数据成功。植物保护　10(5): 33。

张志涛等　1985　粘虫飞翔生物学特性初步研究。植物保护学报　12(2): 93—100。

千叶武胜　1976　小地老虎早期世代大发生与气象图上的特性关系。北日本病虫害会报　第 27 号　121—5 页。

布施宽　1977　小地老虎向日本北部的迁飞与气象。北日本病虫害会报　第 28 号　108—13 页。

杉本渥等　1978　小地老虎在石垣岛的发生消长及季节迁飞的推断。日本应用动物昆虫学会志　22(1): 40—3。

Domino, R. P. et al. 1983 Spring weather pattern with suspected black cutworm moth introduction to Iowa. *Environ. Entomol.* 12:1863—72.

Fletcher, T. B. 1916 Report of the imperial entomologist. *Rep. Agr. Res. inst. and Coll. Pusa,* 1915—16: 58—77. Calcutta.

Johnson, C. G. 1969 Migration and dispersal of insects by flight. Methuen & Co. Ltd., London. 763 pp.

Kapur, A. P. 1955 On moth of greasy cutworm *Agrotis ypsilon* Rott. -found dead in numbers on snow over Rhotang Pass, N. W. Himalayas. *Indian J. Entomol.* 17:289—94.

Williams, C. B. 1926 Records of the migratory insects, chiefly from Africa. *Bull. Soc. Roy. Entomol. Egypte.* 10:224—56.

THE FLIGHT ACTIVITY OF THE BLACK CUTWORM MOTH

JIA PEI-HUA　CAO YA-ZHONG

(Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100094)

The flight activity and capacity of the adult black cutworm *Agrotis ypsilon* (Rott.) were investigated in the laboratory by using flight mill and miniature wind tunnel. The results showel that the moth had the strongest flight capacity on the seventh to nineth day after emergence and the accumulated flight time on the flight mill may reach 34—56 hours during which a distance about 550 to 1000 kilometers would have been travelled and the mean velocity was 3.8 meters per second. The flight activity occurred in two peaks at 19:15—22:00 and 1:00—5:00 each day. The temperature at which flight could occur ranged from 10° to 30°C, with optimum at 18° to 20°C, lower threshold about 6°C and the upper limit about 38°C. The flying activity was reduced when the illumination was above 0.4 lux and it would keep standstill at 2.0 lux. The moth could fly up- and downwind when the wind speed was less than 4.6 meters per second and only downwind when it was above 4.6 meters per second. Starvation, either in larval or adult stage, would affect flight capacity significantly, and in the adult the most important period was the first three days after emergence.

Key words　*Agrotis ypsilon*——moth flight